

AUS DEM INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN
DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER
(Direktor: Prof. Dr. med. E. J. Klaus)

Durchgeführt mit Unterstützung
durch das Kuratorium für Sportmedizinische Forschung e.V.

**Elektrokardiographische Untersuchungen
im Nüchternzustand zur Tagesrhythmik
beim Sportler**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster

vorgelegt von
Alfred Kellersmann

aus Osnabrück

1961

=

AUS DEM INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN
DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER

(Direktor: Prof. Dr. med. E. J. Klaus)

Durchgeführt mit Unterstützung
durch das Kuratorium für Sportmedizinische Forschung e.V.

**Elektrokardiographische Untersuchungen
im Nüchternzustand zur Tagesrhythmik
beim Sportler**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades in der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster

vorgelegt von

Alfred Kellersmann

aus Osnabrück

1961



D e k a n : Prof. Dr. med. O. Hepp

Referent: Prof. Dr. med. E. J. Klaus

Korreferent: Prof. Dr. med. E. Schütz

Tag der mündlichen Prüfung: 9. 6. 1961

Gesamtherstellung: Buchdruckerei Ernst Knoth, Melle

Inhalt

	Seite
Problemstellung	5
Schrifttum	5
Methodik	7
Untersuchungsgut	10
Ergebnisse	10
Besprechung der Ergebnisse	
1. Tageskurven	37
2. Physiologie der Tagesrhythmik im Elektro- kardiogramm	38
Zusammenfassung	41
Literatur	42
Lebenslauf	44



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555206_0030

Die Bedeutung der Rhythmusforschung für den Sport ist gerade in der heutigen Zeit groß; denn es besteht allgemein das Bestreben, sportliche Höchstleistungen auf dem Boden wissenschaftlicher Erkenntnisse zu erzielen. Dazu ist ein Wissen über die Eigenrhythmik des menschlichen Organismus von besonderer Wichtigkeit. Die im folgenden dargestellten Untersuchungen befassen sich speziell mit der sog. Tagesrhythmik, d. h. mit jenen systematischen Schwankungen, die im Verlaufe eines Tages an einer Körperfunktion zu beobachten sind. In dieser Hinsicht wurde hier der Erregungsablauf im Herzen untersucht, dessen Äquivalent als Elektrokardiogramm (EKG) registriert werden kann.

An sich schon ist «der Mensch ein schlechtes Objekt für die Rhythmusforschung» (A s c h o f f [1]); denn die durch Bewußtsein und Wille diktierten Zeitgeber (A s c h o f f [1]), der Wechsel von Wachsein und Schlaf (V ö l k e r [33]), von Nüchternheit und Nahrungsaufnahme (M e n z e l [17]) führen bereits zu Schwankungen in den registrierten Werten einer Funktion. Beim Elektrokardiogramm kommt hinzu, daß Formveränderungen durch die mannigfachsten äußeren Faktoren hervorgerufen werden können, so durch die wechselnde Belastung des Herzens oder die atembedingten Änderungen von Herzlage und Frequenz. Trotzdem sind bei wiederholter Untersuchung des gleichen Patienten im Abstand von wenigen Stunden manchmal EKG-Veränderungen gefunden worden, die sich als Auswirkung solcher Faktoren allein nicht erklären lassen. Diese Veränderungen sind unter dem Begriff «Tagesschwankungen» in die Literatur eingegangen. Ihre pathognomonische Bedeutung ist umstritten¹. Es wurde daher untersucht, ob derartige Tagesschwankungen auch im EKG gesunder Versuchspersonen nachzuweisen sind und ob solche Veränderungen dann regellos über den Untersuchungszeitraum verteilt sind oder aber eine Systematik im Sinne einer Tagesrhythmik erkennen lassen.

Schrifttum

Die bisherigen Untersuchungen über Tagesschwankungen im EKG beschränken sich zumeist auf den Wechsel der *Höhe der T-Zacke*. In den hierfür von S c h e l l o n g (24) durchgeführten Versuchen wurde dreimal am Tage das EKG geschrieben (8.00, 12.00, 15.00 Uhr). Hierbei war um 12.00 Uhr T₂ stark abgeflacht. V e s a (32), der die T-Zacke der Abteilung 2 als Kriterium zur Beobachtung der Tagesschwankun-

¹ Im klinischen Sinne versteht man unter Tagesschwankungen oft nur das Wechseln von einem normalen zu einem pathologischen EKG (G r o s s [7]). Diese Tagesschwankungen werden dann als Zeichen dafür gewertet, daß es sich um nicht fixierte, noch reversible Krankheitsprozesse handelt.

gen heranzieht, sah am Morgen eine mittlere Höhe, ein Minimum am Vormittag und ein Maximum am Abend. Böckh (4) fand an 2 Versuchspersonen bei dreistündlicher Untersuchungsfolge Form- und Größenveränderungen, jedoch ohne charakteristisches Verhalten. Wenner und Doll (34) konnten bei Untersuchungen an 27 gesunden Säuglingen keine tagesrhythmisch auftretenden Veränderungen der T-Zackenhöhe finden. Nach Engelbertz und Hildebrandt (9) nimmt bei Gesunden die Höhe der T-Zacke (gemessen in Prozentwerten der zugehörigen Zackenhöhe von R, Abl. 2) im allgemeinen während der Nachmittagsperiode des biologischen Tages, also von 15.00 bis 3.00 Uhr mittlerer Ortszeit zu und während der Vormittagsperiode von 3.00 bis 15.00 Uhr ab. Die Messungen zeigten sich den gleichzeitig untersuchten tagesrhythmischen Änderungen der physikalischen Wärmeregulation synchron. Die T-Welle wird überdies durch die verschiedensten kardialen und extrakardialen Faktoren beeinflusst, so daß ihre Form beträchtlich variieren kann (Schütz [27], Roths Schuh [22]).

Über ein periodisches Verhalten der *Dauer von P* waren in der Literatur keine Mitteilungen zu finden. Nach Schmidt (25) ist die Erregungsausbreitung in den Vorhöfen sehr empfindlich für Schwankungen im Gleichgewicht vagaler und sympathischer Einflüsse. Will (35) weist nach, daß rein psychogene Einflüsse zu einer Vergrößerung der P-Zacke führen. Nach Schweers (28) erhöht sich die P-Zacke mit steigender Frequenz. Köhler (13) beobachtete Schwankungen der Größe der P-Zacke bereits in den verschiedenen Phasen einer respiratorischen Arrhythmie. Schweers (28) vermutet, daß es sich hierbei um Auswirkungen eines pulmonal-kardialen Reflexsystems (Bainbridge-Reflex) handeln könne. Külb s (14) fand bei experimentellen Untersuchungen am bebrüteten Hühnerembryo, daß durch Vagusreizung die P-Zacke verkleinert wird.

Zur Frage der Tagesschwankungen der *Dauer von PQ* fand Böckh (4) bei Untersuchungen an zwei Versuchspersonen die längsten Überleitungszeiten zwischen 20.00 und 2.00 Uhr (Vp. 1) und um 17.00 Uhr (Vp. 2). Engelbertz und Hildebrandt (9) fanden eine Zunahme der PQ-Dauer in der zweiten Hälfte des biologischen Tages von 15.00 bis 3.00 Uhr. Die tagesrhythmischen Änderungen von PQ, sowie auch von T zeigten sich den rhythmischen Änderungen der physikalischen Wärmeregulation synchron. Nach Klepzig (12), Köhler (13) und Roths Schuh (22) verkürzt sich die PQ-Dauer in regelmäßiger Beziehung zur Frequenz, was bedeutet, daß der Ausbreitungsvorgang der Erregung im Vorhof mit wachsender Frequenz beschleunigt abläuft. Nach Jores (10) tritt während des Nachtschlafes eine verlängerte Überleitungszeit im EKG auf. Auch

Czoniczer (6) fand bei Herzgesunden Schwankungen der PQ-Zeit zwischen 40 und 100 ms.

Die *Dauer von QRS* ist nach Roths ch u h (22) von der Frequenz abhängig und verkürzt sich mit wachsender Schlagzahl. Michel (20) hingegen bezweifelt eine Frequenzabhängigkeit für die QRS-Zeit. Über tagesrhythmische Schwankungen sind uns keine Berichte bekannt geworden. Auch über Tagesschwankungen der QT-Dauer wird in der Literatur nicht berichtet. Die feste Frequenzabhängigkeit der QT-Dauer ist allgemein anerkannt (4, 22, 20, 13). Zwischen QT und QRS besteht nach Roths ch u h (22) eine Korrelation: Ist QRS durch verzögerte Erregungsleitung verbreitert, so ist die QT-Dauer entsprechend verlängert. Schlomka und Reindell (zit. n. 20) haben gezeigt, daß durch Training eine Verkürzung von QT erzielt wird. Nach Slapack (29) kann bei trainierten Sportlern die relative QT-Dauer über den Normalwert hinaus verlängert werden.

Die *Höhe von R* pflegt bei einer Verlängerung der Dauer von QRS anzuwachsen, was aus dem Differenzprinzip zu erklären wäre (22). Außerdem ändert sich die Höhe der R-Zacke einer Ableitung mit der Herzlage. Über Tagesschwankungen der Amplitude von R liegen aus der eingesehenen Literatur keine Untersuchungen vor.

Methodik

Rhythmische Phänomene sind äußeren Einflüssen gegenüber meist sehr empfindlich. Deshalb sind zur Darstellung rhythmischer Körperfunktionen besondere Untersuchungsmethoden notwendig. Auf diese Verhältnisse ist in der Literatur, die sich mit dem Rhythmusproblem befaßt, vielfach aufmerksam gemacht worden. So weist V ö l k e r (33) darauf hin, daß es u. a. wichtig ist, den Einfluß des Aufstehens und Niederlegens auszuschalten; auch die Nahrungsaufnahme zeigt starke Einwirkungen auf das Rhythmusgeschehen. Ferner ist für die Versuche am Menschen erschwerend, daß Bewußtsein (Lichtempfinden, Umweltgeräusche, Kenntnis der Zeiten) und Wille zur Konfliktsituation zwischen Willküraktion und zentraler Periodik führen (Aschoff [1]), wodurch Mischformen in den Tageskurven der beobachteten Körperfunktionen entstehen. Je vollkommener der Abschluß von exogenen Einflüssen (Licht, Zeitbewußtsein, Außenwelt) geschehen kann, desto vollständiger tritt eine Periodik in Erscheinung. In Analogie dazu hält es V ö l k e r (33) für günstig, wenn die Versuchspersonen bei den Untersuchungen psychisch möglichst entspannt sind und auch raumklimatisch keinen Belastungen ausgesetzt sind. Auch Jores (10) fordert im Hinblick auf die Untersuchungsmethoden als erste Voraussetzung, daß die Umweltfaktoren, soweit dies überhaupt möglich ist, konstant gehalten werden; Bewegung, Nahrungszufuhr,

und für manche Fragestellungen auch der Schlaf werden als Faktoren hervorgehoben, deren Ausschaltung wichtig ist. Diesen Forderungen hat sich auch Menzel (17) auf Grund zahlreicher Untersuchungen zu Rhythmusproblemen angeschlossen. Die meisten seiner Versuchspersonen lagen während der Untersuchungen zu Bett und der größte Teil erhielt während dieser Zeit eine «Rhythmuskost» in der Weise, daß Nahrung und Flüssigkeit verteilt über den ganzen Tag in gleicher Menge und Zusammensetzung in regelmäßigen Abständen und in fester Beziehung zu den Meßzeiten gegeben wurden.

Bei unseren Untersuchungen, die sich über 24 Stunden erstreckten und in der Regel morgens 8.00 Uhr begannen, lagen die Versuchspersonen stets zu Bett. Lesen und Schreiben war erlaubt, doch wurde von dieser Erlaubnis wenig Gebrauch gemacht; meist schliefen die Versuchspersonen in den Pausen zwischen den Messungen. Eine Rhythmuskost im Sinne Menzels (17) wurde nicht gegeben; die von den Versuchspersonen eingehaltene 24stündige Karenz wurde bei Bettruhe gut vertragen. Nur bei einer Versuchsperson traten in den letzten Untersuchungsstunden Schwindel und Tachykardie auf. Über länger anhaltende Hungergefühle wurde während der Versuche nie geklagt; trotz der sehr trockenen Luft auch nicht über Durst. Getrunken haben die Versuchspersonen, die unter ständiger Kontrolle standen, sicher nicht. Einen gewissen Anhalt dafür geben auch die vor und nach den Versuchen durchgeführten Gewichtskontrollen, die regelmäßig einen Gewichtsverlust von rund 2 kg ergaben.

Die Versuche wurden in einem Raum des Instituts für Leibesübungen an der Universität Münster durchgeführt, der gewöhnlich als Unterkunft für Gastmannschaften dient. Durch die Zentralheizung war die Raumluft sehr trocken: Die relative Feuchtigkeit bewegte sich um 35–40%. Die Raumtemperatur schwankte um 21° C. Während der Versuche traten keine stärkeren oder sprunghaften Veränderungen dieser Größen auf, auch erhebliche Luftdruckschwankungen wurden nicht beobachtet.

Bei unserer Fragestellung hielten wir es für nötig, die Herzstromkurve möglichst oft und in regelmäßigen Abständen zu schreiben, da nur eine Verfolgung ganzer Tagesgänge bei kurzfristigen Intervallen die Voraussetzung für eine ursächliche und auch begriffliche Klärung der als «Tagesschwankungen» bezeichneten Erscheinungen herbeiführen kann (10). Deshalb erfolgte über 24 Stunden eine stündliche Registrierung der Aktionspotentiale, ausgeführt mit einem direktschreibenden Elektrokardiographen (Hellige-Freiburg: Simpliscriptor). Als Elektroden dienten Plättchen aus V2A-Stahl, die mit einem Gummizügel über den Ableitungsstellen fixiert wurden, ohne eine Stauung zu verursachen. Die Plättchen waren mit einem dünnen Leinenstoff bespannt, der vor den Messungen jeweils angefeuchtet und mit etwas Kontaktpaste beschickt wurde, um den Übergangswiderstand möglichst klein zu halten. Stets wurde die Ableitung II des Extremitäten-Standard-EKG geschrieben, weil die hierbei wirksamen Projektionsbedingungen meist zu den größten Ausschlägen führen². Lediglich bei den erststündlichen Messungen

² Die Größe der von der Körperoberfläche ableitbaren Potentialdifferenz ist abhängig von dem Winkel, den die Verbindungslinie der beiden Ableitungsstellen mit der elektrischen Achse im Herzen bildet; je kleiner dieser Winkel ist, um so größer ist die ableitbare Potentialdifferenz (Schütz [27]).

wurden alle drei Extremitäten-Ableitungen registriert, um diagnostizierbare Störungen von Seiten des Herzens ausschließen zu können.

Aus den gewonnenen Registrierungen wurde je ein Abschnitt ausgewählt, dessen isoelektrische Linie waagerecht verlief und der mindestens vier Herzaktionen verzeichnete. Ausgemessen wurden:

- a) die Dauer von «P» als Maß für die Dauer der Erregungsausbreitung in den Vorhöfen,
- b) die PQ-Zeit («Überleitungszeit») in der die Erregung vom Sinusknoten über Vorhof und Reizleitungsgewebe in das Myokard verläuft (Anfang P bis Anfang Q),
- c) die Zeit der Erregungsausbreitung in den Kammern (QRS),
- d) die Zeit der Erregungsdauer der Kammern (QT),
- e) die Amplitude von «R», sowie
- f) die Höhe von «T», die durch den Erregungsrückgang in der Kammermuskulatur zu erklären ist.

Die Werte für R und T wurden unter Berücksichtigung der bei jeder Messung mitgeschriebenen Eichzacke in Mikrovolt (μV) umgerechnet.

In der Literatur finden sich Angaben über eine Frequenzabhängigkeit der Dauer von PQ und vor allem von QT. Diese «absoluten» Werte sollen sich bei steigender Frequenz verkürzen. Wir konnten lediglich bei QT in 60% der Fälle eine eindeutige Frequenzabhängigkeit feststellen. Diese Tatsache glaubten wir am besten zu berücksichtigen, wenn die Werte von QT in Prozentwerten der zugehörigen Periodendauer (Abstand RR) errechnet wurden ($RR = 100\%$). So wurde ein auf die Frequenz bezogener relativer QT-Wert errechnet.

Um Fehlmessungen sowie durch respiratorische Arrhythmie bedingte Schwankungen der EKG-Werte möglichst auszuschließen, wurde für jeden Stundenwert aus jeweils vier Messungen ein stündlicher Mittelwert errechnet. Das gleiche gilt für die Frequenz, die wegen der atembedingten Schwankungen stets aus einer größeren Zahl von Herzaktionen berechnet wurde. Bei jeder Versuchsperson wurden im Verlauf von 24 Stunden 25 EKG registriert. Insgesamt wurden bei 19 Versuchspersonen 475 EKG-Schriebe ausgewertet und der Beurteilung der Tagesschwankungen von P, PQ, QRS, QT, R und T 13 300 Einzelmessungen zugrunde gelegt.

Bei der Auswertung der Kurven suchten wir uns gegen Meßfehler, die bei der häufigen Messung fast gleicher Strecken aus psychologischen Gründen sonst unvermeidbar sind und die bei der vorliegenden Fragestellung besonders ins Gewicht fallen würden, durch eine besondere Methodik zu sichern. Die Methode besteht darin, daß ein Lineal mit Millimeterteilung und Nonius parallel zur Nullinie angelegt und fixiert wird. Die einzelnen Meßpunkte der Herzstromkurve werden mit arabischen Ziffern bezeichnet (z. B. Anfang P = 1, Ende P = 2, Anfang Q = 3 etc.), die aufeinanderfolgenden 4 Aktionsstromkomplexe, die dem stündlichen Mittelwert zugrunde gelegt wurden, mit römischen Ziffern. Der Nonius wurde dann mit Hilfe einer Lupe auf die einzelnen Meßpunkte eingestellt und abgelesen. Jedem Meßpunkt wird so eine andere Maßzahl zugeordnet. Erst in einem zweiten Arbeitsgang wurden dann aus den Maßzahlen durch Differenzbildung die eigentlichen Meßgrößen errechnet (z. B. $PQ = 3-1$).

Die bei der statistischen Bearbeitung der Ergebnisse verwendeten Formeln und Tabellenwerte wurden der Monographie von Linder (15) entnommen.

Untersuchungsgut

Das Untersuchungsgut umfaßt 19 Studenten der Universität Münster im Alter von 21 bis 26 Jahren, die sich in der Sportlehrerausbildung befanden. Alle Versuchspersonen waren im Institut für Sportmedizin (Leiter Prof. Dr. med. E. J. Klaus) eingehend untersucht worden. Es fanden sich keine pathologischen Erscheinungen. Die Anamnese ergab keine Besonderheiten im Tagesablauf der Versuchspersonen.

Ergebnisse

Für jeden Versuch wurden die stündlichen Meßwerte des EKG, die sich aus der Mittelung von vier Einzelwerten ergaben, als Punkt in ein Koordinatensystem eingetragen. Die Abszisse gab die Tageszeit an, die Ordinate die Dauer der Aktionspotentiale (in ms), bzw. deren Höhe (in μ V), sowie die Frequenz der Herzaktionen.

Der Anschauung mögen drei beliebig herausgegriffene Versuche dienen, die in Abb. 1–3 dargestellt sind. Es ist zu sehen, daß von Stunde zu Stunde die Meßwerte der Dauer von P, PQ, QRS und QT, die Höhe der Zacken R und T, sowie die Meßwerte der Höhe der Frequenz Schwankungen unterworfen sind.

Ähnliche Schwankungen finden sich in den Registrierungen aller Versuche: Die während des Untersuchungszeitraumes von 24 Std. bei stündlicher Registrierung gefundenen höchsten bzw. tiefsten Werte der gemessenen Parameter des EKG (Schwankungsbereich) wurden wie folgt zusammengestellt:

Versuch 6

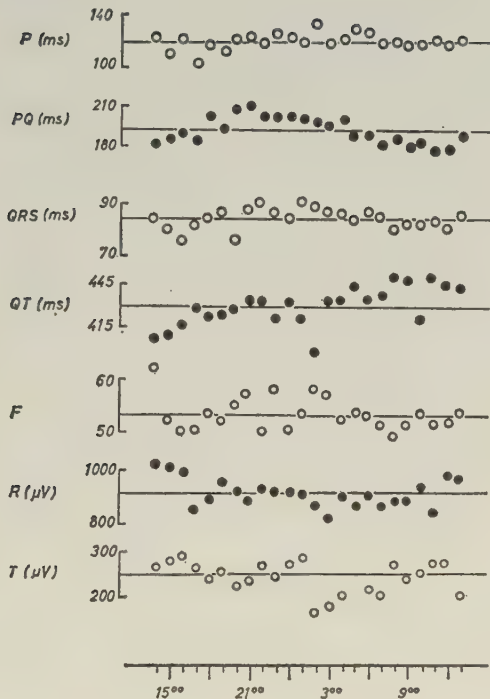


Abb. 1

Versuch 6. G. O., 23 Jahre

Meßwerte

- der Dauer von P, PQ, QRS, QT,
 - der Höhe von R und T,
 - der Frequenz / Min.
- bei stündlicher Registrierung.

Versuch 15

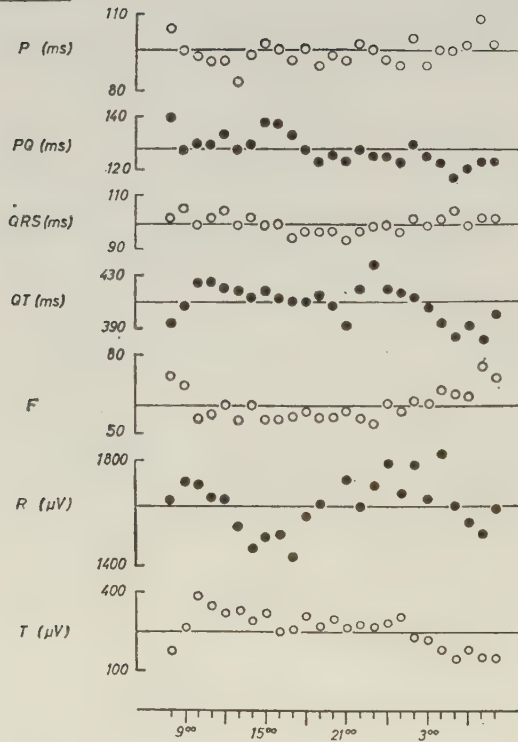


Abb. 2

Versuch 15. U. H., 23 Jahre

Meßwerte

- der Dauer von P, PQ, QRS, QT,
 - der Höhe von R und T,
 - der Frequenz / Min.
- bei stündlicher Registrierung.

11. VERSUCH

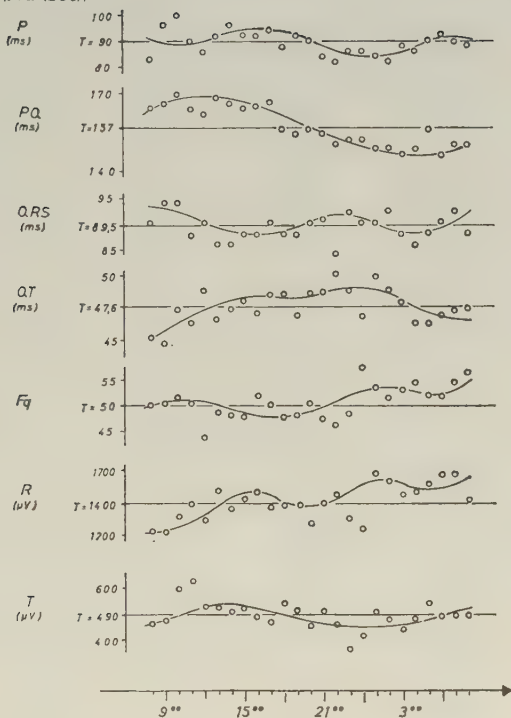


Abb. 3

Versuch 11, T. J., 21 Jahre

Meßwerte

- der Dauer von P, PQ, QRS, QT,
 - der Höhe von R und T,
 - der Frequenz / Min.
- bei stündlicher Registrierung.

Tabelle 1

Schwankungsbereich der Werte der Herzstromkurve mit den entsprechenden Tagesmittelwerten (Versuch 1-19) in ms bzw. μ V

Ver- such	P	PQ	QRS	QT	R	T
1	110 99 93	182 170 140	101 78 68	392 369 339	1224 960 742	398 300 141
2	100 91 78	160 143 130	90 83 78	492 464 430	2880 2510 2180	580 440 350
3	112 100 72	232 200 132	102 97 86	468 381 360	1890 1500 1300	400 290 180
4	108 90 78	222 160 124	96 85 76	516 476 378	1480 1280 1080	370 260 190
5	118 104 94	180 159 132	88 81 76	390 364 340	1480 1240 1110	310 220 130
6	132 119 102	210 191 178	90 84 76	454 430 394	1030 910 820	290 270 180
7	106 94 86	136 125 112	96 89 80	430 396 374	2160 1960 1810	300 230 180
8	112 103 86	172 156 126	96 87 82	418 398 384	1000 880 770	420 360 240
9	118 111 106	194 180 168	94 84 78	434 402 372	1440 1330 1110	700 590 470
10	92 81 72	180 167 150	66 60 52	432 401 362	660 560 480	430 360 280
11	100 90 82	170 157 146	94 89 84	502 475 448	1610 1420 1160	620 490 360
12	104 90 72	180 164 148	88 80 72	468 427 378	1390 1250 1060	560 460 360
13	128 121 112	212 202 188	100 91 86	450 424 386	770 680 600	400 330 260
14	98 90 84	152 141 134	88 82 76	486 459 430	960 840 730	550 500 430
15	108 95 84	140 128 118	102 98 94	438 409 382	1820 1620 1430	380 240 140
16	118 104 94	168 156 142	82 77 72	492 451 424	1340 1240 1110	510 460 400
17	130 117 100	168 156 142	104 99 94	402 368 342	1420 1190 980	140 100 70
18	116 104 94	216 200 182	112 107 102	480 444 410	830 690 550	400 320 220
19	120 110 100	194 183 174	104 99 94	478 457 436	1060 920 780	310 220 140

Die Tabelle enthält außerdem die Mittelwerte aus sämtlichen Messungen der einzelnen Parameter, die sog. «Tagesmittelwerte», die das «Niveau» kennzeichnen, auf dem sich die Tagesschwankungen abspielen («Tagesniveau»). Die Streuung (mittlere quadratische Abweichung) der Einzelwerte um ihre Tagesmittelwerte ist, geordnet nach der Größe ihres Tagesniveaus, aus den Tabellen 2–5 zu ersehen. Eine Abhängigkeit der beiden Größen voneinander sollberger [31], Berges [2]) konnte nicht gefunden werden. Graphisch sind die Verhältnisse in den Abbildungen 4–7 zusammengestellt.

Die Variationsbreiten der Meßwerte von sämtlichen untersuchten Sportlern sowie die entsprechenden Mittelwerte, wurden zu Tabelle 6 zusammengestellt. Die in dieser Tabelle rechts angeführten Vergleichswerte sind der Monographie von Rothschuh (22) entnommen, die Variationsbreite von QT wurde wegen der Frequenzabhängigkeit aus der von Schütz und Rothschuh (26) angegebenen Tabelle über die Frequenzabhängigkeit der Dauer von QT errechnet aus der Höhe der Frequenz. Man ersieht aus dieser Tabelle, daß die in unseren Versuchsergebnissen sich findende Variationsbreite von QT (330–516 ms) innerhalb der aus der Frequenz der Versuchspersonen errechneten Normbreite (270–580 ms) liegt. Die höchsten Werte für P, PQ, QRS und R überschreiten den Normbereich um ein geringes, die niedrigsten Werte für P und PQ liegen ein wenig unter der Normgrenze. Man darf diese Überschreitungen der Normgrenze sicherlich nicht als pathologisch betrachten, zumal für das EKG von Sportlern einige Besonderheiten noch als physiologisch anerkannt werden (Köhler [13]). So wurde bei niedriger Frequenz die PQ-Strecke nicht selten verlängert gefunden. Nach Slapak (30) kann das EKG eines trainierten Sportlers in Ruhe eine Verlängerung der PQ-Zeit über 200 ms aufweisen.

Tabelle 2

Streuung der stündlichen Meßwerte von P um ihr Tagesmittel T. $s \pm$ = Streuung; in der rechten Spalte s in Prozentwerten des Tagesniveaus.

Ver-such	T (ms)	$s \pm$ (ms)	$s \pm$ (%)
13	121	3,7	3,09
6	119	5,7	4,79
17	117	7,7	6,58
9	111	3,5	3,15
19	110	5,7	5,18
16	104	3,9	3,75
5	104	6,8	6,54
18	104	5,0	4,81
8	103	7,4	7,18
4	102	9,2	8,24
3	100	6,9	6,90
1	99	4,1	4,14
15	95	4,8	5,05
7	94	6,4	6,81
2	91	3,8	4,18
12	90	8,9	9,89
11	90	3,7	4,11
14	90	3,6	4,00
10	81	4,8	5,93

Tabelle 3

Streuung der stündlichen Meßwerte von PQ um ihr Tagesmittel T. $s \pm$ = Streuung; in der rechten Spalte s in Prozentwerten des Tagesniveaus.

Ver-such	T (ms)	$s \pm$ (ms)	$s \pm$ (%)
7	125	4,7	3,72
15	128	3,4	2,65
14	141	2,9	2,07
2	143	5,7	4,00
16	156	2,7	1,76
17	156	3,5	2,25
8	156	7,3	4,69
11	157	5,4	3,44
5	159	12,0	7,55
4	160	14,8	9,25
12	164	5,5	3,37
10	167	6,0	2,61
1	170	9,8	5,76
9	180	6,5	6,39
19	184	2,3	1,23
6	192	6,9	3,57
3	200	20,9	10,45
18	200	2,8	1,41
13	202	4,7	2,34

Nachdem wir nun gesehen hatten, daß die stündlichen Registrierungen der Herzstromkurve keinesfalls konstante Werte erbrachten, war es unser Bestreben, festzustellen, ob diese Veränderungen regellos auftreten oder einer Gesetzmäßigkeit unterliegen. Aus der Literatur ist bekannt, daß eine mathematische Analyse kurzer Kurvenzüge möglich ist (Blume [3]³).

³ Blume (3) geht bei der Analyse komplizierter Kurven davon aus, daß diese aus mehreren Perioden konstanter Wellenlänge aufgebaut sind. Man kann sich eine doppelgipflige Kurve dann dadurch begründet denken, daß hierbei 12stündige Perioden an ihrem Aufbau wesentlich beteiligt sind. Das Auftreten von Haupt- und Nebenextremen könnte dann als Interferenz einer 24stündigen und einer 12stündigen Periode erklärt werden, also durch Überlagerung der beiden Perioden.

Tabelle 4

Streuung der stündlichen Meßwerte von QRS um ihr Tagesmittel T. $s \pm$ = Streuung; in der rechten Spalte die Streuung in Prozentwerten des Tagesniveaus.

Ver-such	T (ms)	$s \pm$ (ms)	$s \pm$ (%)
10	60	2,4	4,0
16	77	2,4	4,0
1	78	6,1	7,9
12	80	2,8	3,5
5	81	2,9	3,6
14	82	1,8	2,2
2	83	2,7	3,2
9	84	3,1	3,7
6	84	2,3	3,1
4	85	6,2	7,3
8	87	2,1	2,5
11	89	1,7	1,9
7	90	2,2	2,5
13	91	2,2	2,4
3	97	2,3	2,4
15	98	1,6	1,7
19	99	1,7	1,8
17	99	1,7	1,8
18	107	2,7	2,5

Tabelle 5

Streuung der stündlichen Meßwerte von QT um ihr Tagesmittel T (in Prozenten der zugehörigen Periodendauer). $s \pm$ = Streuung; in der rechten Spalte die Streuung in Prozentwerten des Tagesniveaus.

Ver-such	T (ms)	$s \pm$ (ms)	$s \pm$ (%)
17	45,9	2,9	6,3
5	44,9	6,4	14,3
3	41,5	6,3	15,2
15	40,8	3,0	7,4
8	39,9	2,7	6,8
11	38,8	4,6	11,9
2	38,0	3,2	8,4
6	37,8	1,9	5,0
10	37,5	2,0	5,3
4	36,7	3,2	8,7
7	36,2	1,9	5,2
19	35,0	2,4	6,9
1	34,8	4,0	11,5
12	34,3	2,4	7,0
9	34,0	2,1	6,2
13	33,6	3,4	10,1
14	33,3	2,7	8,1
16	33,0	2,5	7,6
18	31,8	3,5	10,4

Dieses Verfahren konnte jedoch bei vorliegender Arbeit nicht angewandt werden. Wir haben daher graphisch eine Näherungslösung dieser Frage versucht. Da bekannt ist (Menzel [18]), daß bei tagesrhythmisch schwankenden Funktionen an der Spitze der Häufigkeitsskala Periodendauern von 24 und 12 Stunden stehen, wurde versucht, den Meßwerten ein- oder zweigipflige Kurven so anzupassen, daß möglichst viele Punkte möglichst nahe an dem Kurvenzug liegen; denn es gelingt nur in den wenigsten Fällen, die Meßpunkte durch »glatte« Kurven zu verbinden. Dies kann einerseits dadurch bedingt sein, daß sich die Schwankungen aus mehreren Perioden verschiedener Dauer aufbauen. Zum anderen muß man an das Vorhandensein der eingangs erwähnten Störfaktoren denken. Die zeichnerische Anpassung ein- bzw. zweigipfliger Kurven an die gefundenen Meßwerte kann also zunächst nur als Versuch gelten, die bei rhythmologischen Untersuchungen am häufigsten gefundenen Periodendauern mit den

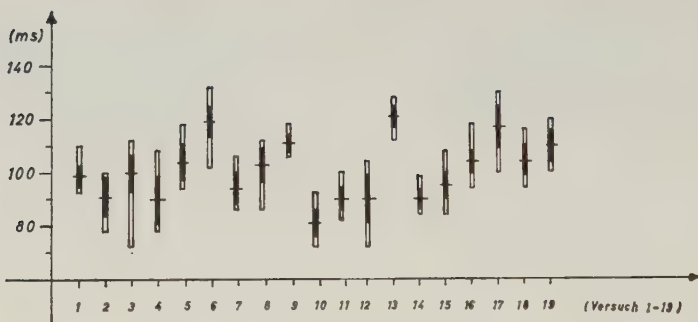


Abb. 4

Schwankungsbereich der P-Dauer der Versuche 1-19 im Verlauf von 24 Stunden. Die umrandeten Felder geben den Variationsbereich jeden Versuches an, die in diesen Feldern liegenden ausgezogenen Abschnitte die Streuung. Die kurzen Querstriche bezeichnen das Tagesmittel. Vgl. Tab. 1 und 2.

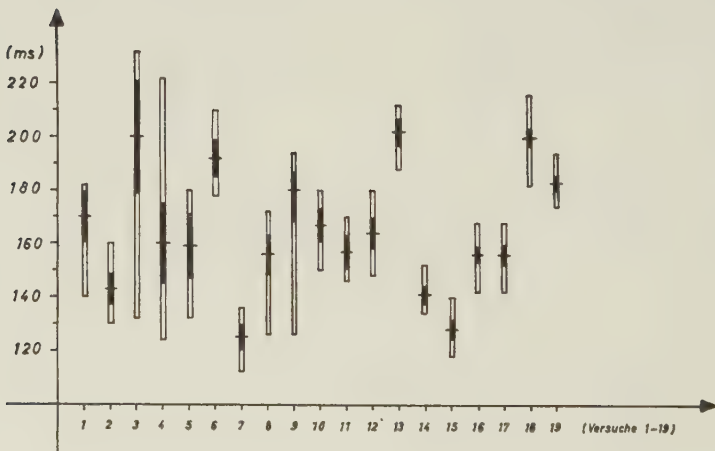


Abb. 5

Schwankungsbereich der PQ-Dauer der Versuche 1-19 im Verlauf von 24 Stunden. Vgl. Tab. 1 und 3.

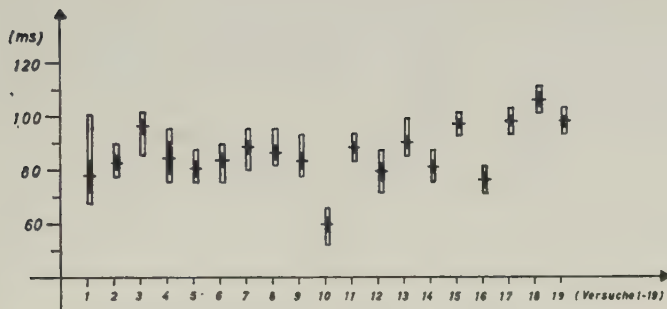


Abb. 6

Schwankungsbereich der QRS-Dauer der Versuche 1-19 im Verlauf von 24 Stunden. Vgl. Tab. 1 und 4.

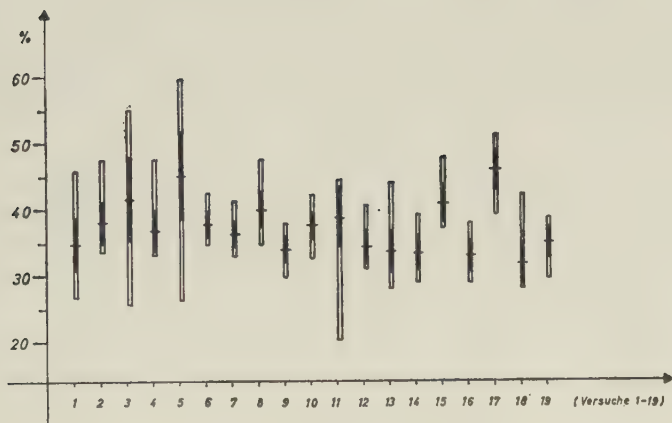


Abb. 7

Schwankungsbereich der QT-Dauer (in Prozentwerten der Periodendauer [RR]) der Versuche 1-19 im Verlauf von 24 Stunden. Vgl. Tab. 1 und 5.

Tabelle 6

	V Max.	V Min.	M	V Max.	V Min.	M
P	132	72	101	120	80	90
PQ	232	112	165	200	120	160
QRS	112	52	87	100	50	80
R	2880	430	1217	2400	360	1200
T	700	140	340	1250	350	290
QT	516	330	421	580	270	—
Fq	97	31	54	—	—	—

Variationsbreiten (V) sowie Mittelwerte (M) sämtlicher Messungen von P, PQ, QRS, QT in ms, R und T in μ V, sowie der Frequenz/Min. (rechts Vergleichswerte nach Rothschuh [22]).

Tabelle 7

Periodendauer

	ca. 24 Std.	ca. 12 Std.	sonstige bzw. unbestimmte
P	1	17	1
PQ	15	2	2
QRS	13	2	4
QT	3	13	3
R	16	1	2
T	1	17	1

Häufigkeit der am deutlichsten hervortretenden Periodendauern im EKG der Standard-Abl. 2.

Versuchsergebnissen zu vergleichen. Es wird später ausführlicher darzulegen sein, in welchem Umfang systematische Schwankungen dieser Art im EKG vorkommen. Tab. 7 gibt zunächst Auskunft über das Ergebnis der zeichnerischen Analysen. Es läßt sich dahin zusammenfassen, daß bei der Dauer von P, QT und der Amplitude von T meist zweigipflige Kurven besser anzupassen sind, während sich den Schwankungen der Überleitungszeit, der Breite des QRS-Komplexes sowie der Höhe der R-Zacke eingipflige Kurvenzüge besser einfügen. Um dieses Ergebnis zu sichern, wurde versucht, Mittelwertskurven zu bilden. Sofern die eine Periodik überdeckenden Faktoren unsystematisch sind, müssen sie sich bei einer Mittelwertbildung weitgehend eliminieren. Es wurden deshalb Mittelungen durchgeführt, wobei sämtliche Versuchswerte nach ihrer tageszeitlichen Ordnung summiert und durch N (N = Anzahl der Versuche) dividiert wurden. Über die hierbei gefundenen mittleren Werte gibt die Tabelle 8 Auskunft.

Trägt man jeden Wert dieser durch Mittelung erhaltenen Stundenwerte als Punkt in ein Koordinatensystem ein, wobei die Abszisse die Tageszeit angibt, so zeigt sich folgendes:

Die Mittelwertskurve der stündlichen Dauer von P zeigt andeutungsweise eine biphasische Rhythmik. Maxima liegen gegen 9.00 und 21.00 Uhr, Minima gegen 3.00 und 15.00 Uhr. Das Mittel beträgt 101 ms. Nach R o t h s c h u h (22) liegt das Mittel bei 90 ms, also niedriger als der Mittelwert dieser Versuche. Es mag durch die vorwiegend vagotone Reaktionslage des vegetativen Nervensystems bei Sportlern erklärlich sein, wodurch die Basis von P verbreitert wird (29). Die Mittelwertskurve der stündlichen Dauer von PQ erscheint monophasisch mit einem Maximum gegen 21.00 Uhr und einem Minimum gegen 9.00 Uhr. Das Mittel (165 ms) liegt ein wenig über der von R o t h s c h u h (22) angegebenen Norm von 160 ms.

Tabelle 8

Mittlere Werte der Dauer von P, PQ, QRS und QT von jeweils 19 Versuchen

Zeit	P (ms)	PQ (ms)	QRS (ms)	QT (ms)
8.00	104	166	88	410
9.00	102	162	87	408
10.00	100	162	86	412
11.00	102	166	86	414
12.00	98	162	87	428
13.00	102	168	86	420
14.00	101	166	87	414
15.00	97	159	86	420
16.00	101	165	87	418
17.00	103	165	86	418
18.00	100	166	87	420
19.00	103	168	86	414
20.00	101	167	87	420
21.00	102	168	87	422
22.00	102	170	86	424
23.00	101	166	88	428
24.00	102	167	87	426
1.00	102	164	87	428
2.00	108	167	87	426
3.00	102	167	88	430
4.00	99	162	87	428
5.00	101	163	88	428
6.00	102	165	87	430
7.00	103	163	86	418
8.00	100	161	86	430
T	101,5	165	87	421

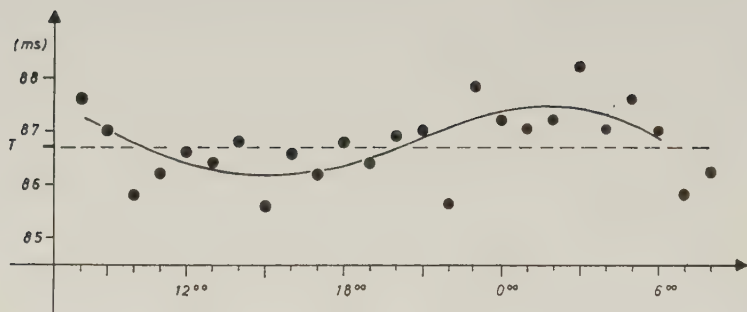


Abb. 8
Mittelwertskurve von QRS der Versuche 1-19

Auch die Mittelung der Stundenwerte von QRS läßt eine eingipflige Kurve entstehen, wobei das Maximum gegen 3.00 Uhr, das Minimum gegen 15.00 Uhr angenommen werden darf (Abb. 8). Das Mittel beträgt 87 ms und liegt damit ebenfalls ein wenig über der von Rothschuh (22) angegebenen Norm von 80 ms.

Die Mittelwerte der stündlichen Dauer von QT deuten ebenfalls eine Ordnung an. Das Kurvenbild macht zwei Maxima deutlich, wovon wir das größere gegen 2.00 Uhr als das Hauptmaximum bezeichnen, das kleinere gegen 14.00 Uhr als das Nebenmaximum. Ebenso finden wir ein Hauptminimum gegen 8.00 Uhr und ein Nebenminimum gegen 19.00 Uhr (Abb. 9).

Für die Höhe der Aktionspotentiale von R und T, sowie der Frequenz/Min. wurde ebenfalls ein Mittelwert errechnet (Tabelle 9).

Beim Versuch der graphischen Darstellung fand sich für R andeutungsweise eine eingipflige Rhythmik, die ihr Maximum gegen 4.00 Uhr, ihr Minimum gegen 16.00 Uhr hat. Das Mittel aus 1900 Messungen beträgt 1217 μ V und entspricht damit nahezu genau dem von Rothschuh (22) angegebenen Wert von 1200 μ V.

Die Mittelwertskurve für die Höhe von T ist unklar. Das Mittel beträgt 340 μ V. Dieses ist zwar nach Rothschuh (22) geringer (290 μ V), entspricht aber der bekannten Tatsache, daß Sportler oft ein erhöhtes T haben.

Schließlich wäre noch das Verhalten der Frequenz im Hinblick auf ein rhythmisches Geschehen zu untersuchen. Hier findet sich ein doppelgipfliger Rhythmus mit einem Hauptmaximum gegen 9.00 Uhr und einem Nebenmaximum gegen 21.00 Uhr, einem Hauptminimum

Tabelle 9

Mittlere Werte der Höhe von R und T, sowie der Frequenz/Min.
(19 Versuchspersonen).

Zeit	R (μ V)	T (μ V)	Frequenz
8.00	1220	312	57,9
9.00	1240	335	58,6
10.00	1230	381	55,6
11.00	1200	353	55,1
12.00	1250	353	56,3
13.00	1230	344	55,9
14.00	1230	356	50,4
15.00	1230	343	53,8
16.00	1190	329	53,9
17.00	1170	353	53,1
18.00	1220	343	52,3
19.00	1200	329	53,9
20.00	1150	342	54,1
21.00	1200	344	53,7
22.00	1200	345	52,7
23.00	1240	343	52,2
24.00	1280	336	52,2
1.00	1230	378	52,5
2.00	1230	331	50,9
3.00	1220	331	50,5
4.00	1220	331	53,3
5.00	1210	332	54,9
6.00	1210	330	47,4
7.00	1190	323	50,1
8.00	1190	325	54,1
T	1217	340	53,8

gegen 3.00 Uhr und einem Nebenminimum gegen 15.00 Uhr. Die mittlere Tagesfrequenz aus 1500 Messungen beträgt 53,8/Min. Die relativ niedrige Frequenz beruht offenbar auf der vagotonen Reaktionslage des vegetativen Nervensystems, was bei Sportlern als Trainingswirkung nicht selten anzutreffen ist (22).

Betrachten wir nun diese durch einfache Mittelung gebildeten Kurven im Hinblick auf die Frage nach den tagesrhythmischen Schwankungen im EKG, so sind sie nicht ganz zufriedenstellend. Gewiß lassen sich in einigen Fällen recht eindrucksvolle Kurvenbilder darstellen. Doch in anderen Fällen bleiben die Bilder wieder ziemlich unklar. Es ist auch aus der Literatur bekannt, daß die Bildung solcher Mittelwertskurven häufig keine ausreichenden Ergebnisse bringt (Menzel [16]),

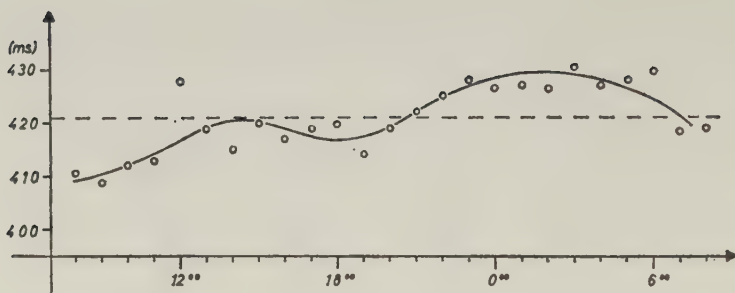


Abb. 9

Mittelwertskurve von QT (in absoluten Werten) der Versuche 1-19

da schon bei der gleichen Versuchsperson die Maxima und Minima einer auf ihren Tagesrhythmus hin untersuchten Körperfunktion bei wiederholten Untersuchungen nicht zur gleichen Zeit liegen, sondern erhebliche Phasenverschiebungen aufweisen können (8, 16, 24). Auch wenn bei mehreren Versuchspersonen zur gleichen Zeit und im selben Raume die gleiche Körperfunktion untersucht wird, ergeben sich solche Phasenverschiebungen. Wenn also eine Mittelwertskurve ein deutliches Bild des Tagesganges der untersuchten Körperfunktion ergeben soll, so ist ein Ausgleich der Phasenverschiebung anzustreben.

Für diesen Phasenausgleich konnte nur jener Teil der Versuche herangezogen werden, bei dem die in der Gesamtheit der Ergebnisse am häufigsten gefundenen Periodendauern deutlicher hervortraten (80% der Versuche, vgl. Tab. 7). Für den Phasenausgleich wurden die Kurven bzw. ihre Tabellenwerte so gegeneinander verschoben, daß in der ersten Zeile der Tabelle jeweils der Meßwert steht, der dem Hauptmaximum der gezeichneten Kurve entspricht (in Tabelle 10 und 11 als Nr. 1 bezeichnet).

Denjenigen Wert, den man erhält, wenn diese phasengerecht zusammengestellten Meßwerte summiert und durch N (N = Anzahl der Versuche) dividiert werden, bezeichnen wir als den «Mittelwert nach Phasenausgleich» (Tab. 9 u. 10). Untersuchen wir unter diesen neuen Gesichtspunkten die Tagesgänge der verschiedenen Größen des EKG, so zeigen sich rhythmische Phänomene schon deutlicher: Für «P» verstärkt sich die Wahrscheinlichkeit eines biphasischen Rhythmus (Abb. 10).

Tabelle 10

Mittlere Werte der Dauer von P, PQ, QRS und QT (in ms) von jeweils 19 Versuchen nach Phasenausgleich.

Nr.	P	PQ	QRS	QT
1	104,0	171	89	416
2	105,0	170	91	420
3	103,0	162	91	424
4	102,8	159	89	422
5	101,4	163	89	428
6	97,6	166	89	424
7	102,2	164	88	422
8	98,8	164	88	412
9	98,8	161	87	432
10	99,8	158	86	430
11	100,0	166	86	432
12	99,4	161	87	424
13	101,2	160	86	416
14	97,4	161	87	422
15	99,1	157	85	416
16	100,2	155	86	426
17	99,4	158	87	426
18	96,9	160	87	432
19	96,0	159	87	430
20	99,8	163	89	436
21	100,0	176	89	436
22	102,0	166	90	438
23	102,8	166	89	428
24	103,0	169	90	432
25	103,0	159	92	—
T	100,5	163	88	426

Tabelle 11

Mittlere Werte der Höhe von R und T (in μV) von jeweils 19 Versuchen nach Phasenausgleich.

Nr.	R	T
1	1260	391
2	1227	345
3	1207	340
4	1204	334
5	1162	341
6	1106	309
7	1162	316
8	1160	332
9	1140	320
10	1098	314
11	1120	326
12	1112	343
13	1110	327
14	1118	333
15	1153	345
16	1135	339
17	1157	336
18	1160	342
19	1113	330
20	1140	307
21	1164	326
22	1158	338
23	1202	352
24	1154	366
T	1155	336

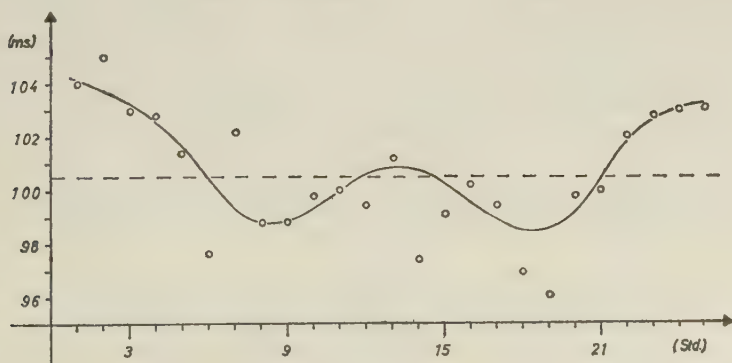


Abb. 10

Mittelwertskurve der Dauer von P aus 17 Versuchen.
Phasendifferenzen nach zeichnerischer Bestimmung ausgeglichen.

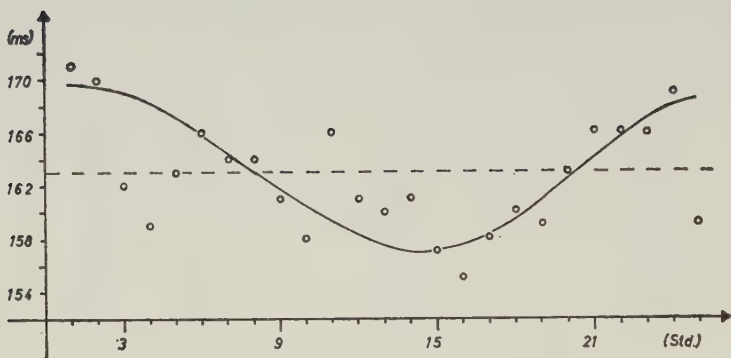


Abb. 11

Mittelwertskurve der Dauer von PQ aus 15 Versuchen.
Phasendifferenzen nach zeichnerischer Bestimmung ausgeglichen.

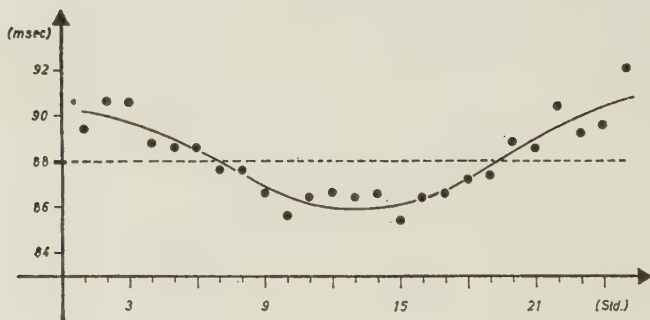


Abb. 12

Mittelwertskurve der Dauer von QRS aus 13 Versuchen.
Phasendifferenzen nach zeichnerischer Bestimmung ausgeglichen.

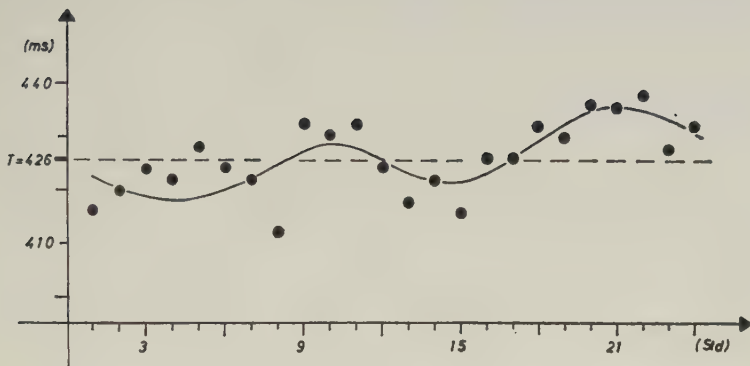


Abb. 13

Mittelwertskurve der Dauer von QT aus 13 Versuchen.
Phasendifferenzen nach zeichnerischer Bestimmung ausgeglichen.

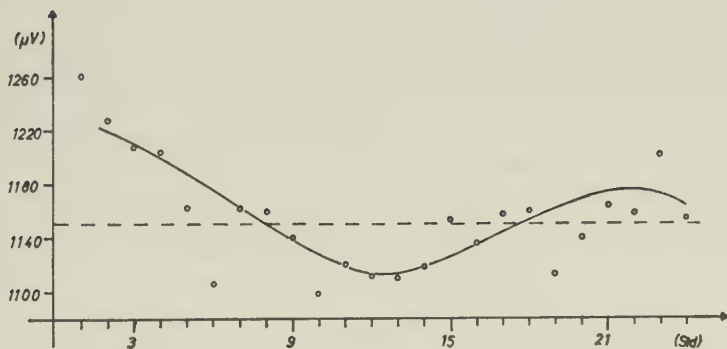


Abb. 14

Mittelwertskurve der Höhe von R aus 16 Versuchen.
Phasendifferenzen nach zeichnerischer Bestimmung ausgeglichen.

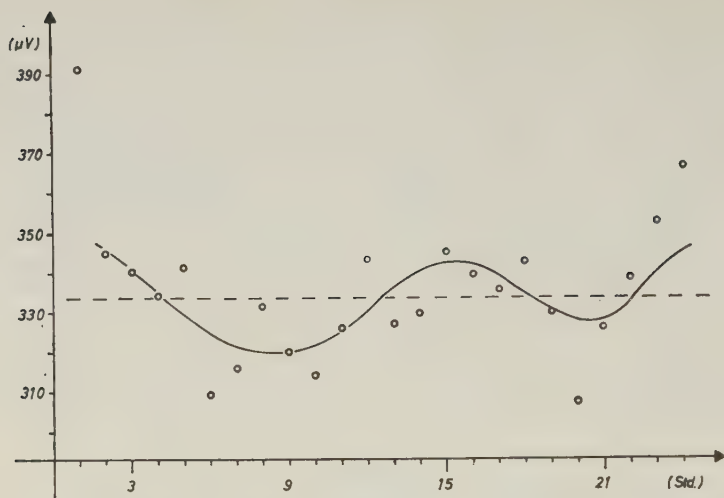


Abb. 15

Mittelwertskurve der Höhe von T aus 17 Versuchen.
Phasendifferenzen nach zeichnerischer Bestimmung ausgeglichen.

Für den Rhythmus der Dauer der Überleitungszeit (PQ) ergibt sich ein klareres Bild, nachdem der Phasenausgleich vorgenommen wurde. Der Tagesgang ist eindeutig eingipflig (Abb. 11).

Besonders für die QRS-Dauer zeigt sich eine befriedigende Klärung der Frage nach einer Systematik der Tagesschwankungen. Während die Stundenwerte ohne Phasenausgleich recht ungeordnet im Koordinatensystem lagen (vgl. Abb. 8), ergibt sich nach Phasenausgleich eine 24-stündige Periodik (Abb. 12).

Der Phasenausgleich für die Dauer von QT (Abb. 13) brachte für die entsprechenden Mittelwertskurven keine größere Klarheit als die entsprechend der Ortszeit gemittelten Versuchsergebnisse (Abb. 9), so daß hierdurch lediglich eine Bestätigung dafür gefunden wird, daß der Rhythmus biphasisch ist.

Für die Höhe der R-Zacke wird durch die Phasenverschiebung der eingipflige Tagesgang deutlicher (Abb. 14).

Eine Mittelwertskurve für die Dauer von T nach Phasenausgleich zeichnet sich nicht so klar ab (Abb. 15). Im Verhältnis zu dem völlig unklaren Bild, das ohne Phasenausgleich entstand, zeigte sich insofern eine Klärung, als man jetzt einen biphasischen Rhythmus für wahrscheinlich halten darf.

Der Erfolg des Phasenausgleichs bestätigt das Ergebnis des zeichnerischen Näherungsverfahrens (vgl. Tab. 7). Das Ergebnis der Mittelwertsbildung nach Phasenausgleich kann daher wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Für P wird der zweigipflige Tagesgang wahrscheinlich gemacht.
2. Für PQ zeigt sich nach Phasenausgleich ein eindeutig eingipfliger Tagesrhythmus.
3. Für QRS findet sich eine klare eingipflige Kurve, während die Stundenwerte ohne Phasenausgleich ungeordnet im Koordinatensystem lagen.
4. Für QT wurde keine weitere Klärung erreicht, sondern lediglich die Bestätigung, daß der Rhythmus biphasisch ist.
5. Für R wird durch die Phasenverschiebung der eingipflige Tagesgang verdeutlicht.
6. Für T wird ein biphasischer Rhythmus wahrscheinlich gemacht.

Durch rechnerische Ermittlung der Phasendifferenzen zwischen den einzelnen Versuchen nach dem Vorgehen von Berges (2) könnten vermutlich noch bessere Mittelwertskurven nach Phasenausgleich erhalten werden. Neue Ergebnisse sind durch diese sehr zeitraubenden Berechnungen jedoch nicht zu erwarten, da schon auf Grund des Phasenausgleichs nach angenäherter zeichnerischer Ermittlung der Phasendifferenzen hinreichend dargetan ist, daß die Schwankungen der verschiedenen EKG-Parameter zumindest statistisch nicht regellos im Tagesablauf auftreten, sondern eine als Tagesrhythmik zu betrachtende Systematik erkennen lassen.

Bei der Fragestellung, ob die Extremlagen der Kurven in irgendeiner Abhängigkeit zu einem anderen Faktor des rhythmischen Geschehens stehen, wurde eine Arbeit von Berges (2) herangezogen. Der Autor findet bei elektromyographischen Untersuchungen an Sportlern Abhängigkeiten zwischen tageszeitlicher Lage der Extreme und dem Tagesmittel: Mit dem Steigen des Tagesmittels nähern sich die Extreme der Ordinatenachse. Für die Prüfung der Frage, inwieweit Tagesmittel und tageszeitliche Lage der Extreme in Beziehung zueinander stehen, entnehmen wir den Darstellungen der Einzelversuche die Tageszeiten, zu denen die Kurven Extreme haben und stellen sie zu Tabellen zusammen, indem die Versuche nach der Größe des Tagesmittels (T) geordnet werden.

Anhand der Tabelle 12 für die Dauer der P-Welle soll der weitere Untersuchungsgang erläutert werden. Aus der Tabelle läßt sich ablesen, daß mit steigendem Tagesmittel die Extreme immer früher liegen.

Aus diesen Werten lassen sich vier Regressions- bzw. Korrelationskoeffizienten berechnen. Soweit in einer Spalte der Tabelle vor und nach Mitternacht liegende Werte vorkommen, müssen die später als 24.00 Uhr liegenden Werte in die Rechnung mit der Größe $y_i = 24 + z$ (z = Uhrzeit nach Mitternacht) eingesetzt werden.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse zusammengestellt; die Indizes von Tabelle 12 und 13 stimmen überein.

Tabelle 12

Tageszeitliche Lage der Extreme der Tageskurven von P, geordnet nach der Höhe des Tagesniveaus (T).

Versuch	Index	1	2	3	4
	T	Max.	Min.	Max.	Min.
10	81	21.30	3.00	11.00	16.30
11	89	16.00	23.30	6.00	12.00
14	90	10.30	7.00	5.00	18.30
12	90	19.30	2.00	8.00	14.00
2	91	21.30	5.00	12.00	17.00
7	94	18.30	1.00	7.00	12.30
15	95	19.30	1.00	8.00	12.00
1	99	10.00	19.00	0.30	4.30
3	100	15.00	20.00	2.30	8.00
4	102	17.00	22.30	5.00	11.00
8	103	14.00	18.00	0.30	9.00
18	104	12.00	17.30	23.30	7.00
19	110	13.00	21.00	2.00	7.30
9	111	15.30	21.00	3.00	11.30
17	117	8.00	12.00	20.30	2.30
6	119	13.00	18.30	2.30	9.00
13	121	7.30	12.00	18.30	2.00

ms

U h r

Tabelle 13

Regressions- (= b) und Korrelationskoeffizienten (= r) zur Beziehung zwischen Tagesniveau und zeitlicher Lage der Extreme (vgl. Abb. 16 und 17) von P.

i	b_i	r_i	$\bar{x}$ (T)	$\bar{y}$ (Zeit)
1	-0,071	-0,781	100	15
2	-0,110	-0,970	100	22
3	-0,093	-0,928	100	4
4	-0,089	-0,905	100	10
D	-0,095	-0,896	—	—

Es besteht demnach eine hohe negative Korrelation zwischen Tagesmittel und tageszeitlicher Lage der Extreme. Die Abb. 16 und 17 geben eine graphische Darstellung des Sachverhalts.

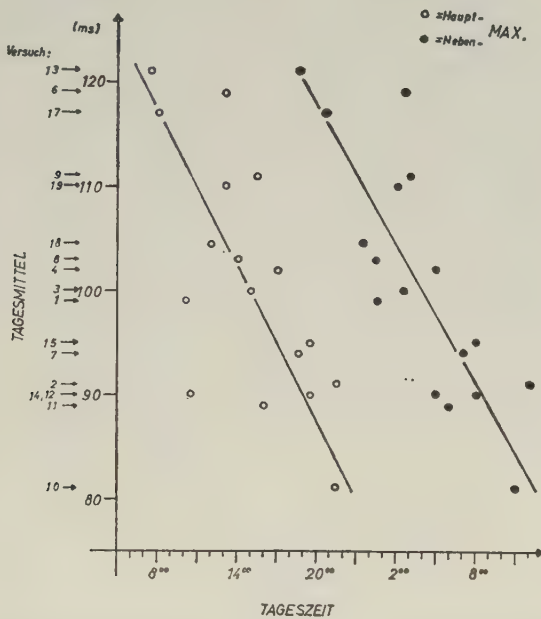


Abb. 16

Korrelation zwischen Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Maxima von P.

Bei der Prüfung von r_i auf seine Signifikanz mit Hilfe der t-Verteilung ergibt sich für

$r_1 = -0,781$	ein $t_1 = 4,58$
$r_2 = -0,970$	$t_2 = 15,34$
$r_3 = -0,928$	$t_3 = 9,65$
$r_4 = -0,905$	$t_4 = 8,25$

Da bei 15 Freiheitsgraden und

$p = 0,01$	$t = 2,947$
$p = 0,001$	$t = 4,073$

liegt $t_1 - 4$ weit außerhalb der Sicherheitsschwellen.

Die Korrelation von Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Extreme ist damit für P gesichert.

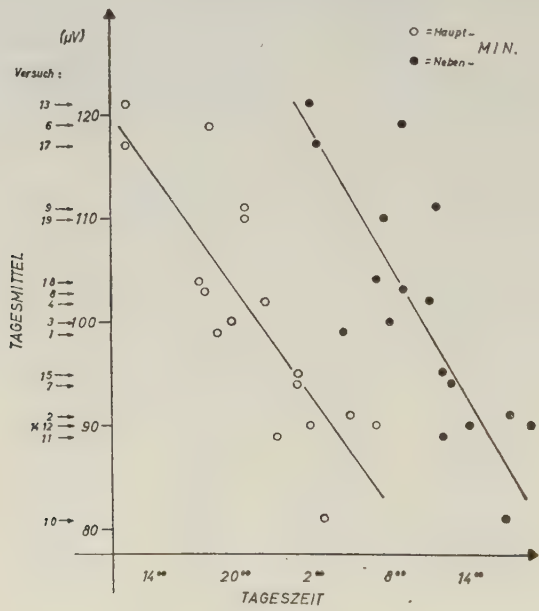


Abb. 17
Korrelation zwischen Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Minima von P.

Die Neigung der in Abb. 16 und 17 eingetragenen Regressionsgeraden wurde aus den entsprechenden Regressionskoeffizienten berechnet:

$$\begin{aligned} y_1 &= -0,071 x + 51 \\ y_2 &= -0,110 x + 77 \\ y_3 &= -0,093 x + 75 \\ y_4 &= -0,089 x + 55 \end{aligned} \quad \begin{aligned} (y &= \text{Uhrzeit}) \\ (x &= \text{Tagesmittel}) \end{aligned}$$

Für die übrigen Parameter des EKG: die Dauer von QT, PQ, QRS, sowie die Höhe der R- und T-Zacke wurde der gleiche Untersuchungsgang durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 14–18 und den Abbildungen 18–21 niedergelegt. Es ergibt sich also, daß bei allen gemessenen Parametern des EKG mit Ausnahme der Breite des QRS-Komplexes eine Abhängigkeit der Phasenlage der im Tagesverlauf gemessenen Werte vom Niveau der Tagesschwankungen besteht.

Tabelle 14

Tageszeitliche Lage der Extreme der Tageskurven von PQ, geordnet nach der Höhe des Tagesniveaus (T).

Ver- such-	Index	1	2
	T	Max.	Min.
7	125	16.00	6.00
15	128	15.30	3.30
14	141	23.00	12.00
2	143	2.30	16.00
8	156	23.00	11.00
16	156	3.00	14.30
5	159	20.00	10.00
4	160	6.00	19.00
10	167	1.00	16.00
1	170	22.00	7.00
9	180	19.00	5.30
19	183	13.30	0.30
6	192	22.00	13.00
3	200	21.00	13.00
13	202	18.00	7.00

ms

U h r

Tabelle 15

Tageszeitliche Lage der Extreme der Tageskurven von QRS, geordnet nach der Höhe des Tagesniveaus (T).

Ver- such-	Index	1	2
	T	Max.	Min.
10	60	8.00	20.00
16	77	14.00	1.00
12	80	0.00	12.00
5	81	22.00	11.30
2	83	6.30	19.30
6	84	0.30	12.30
8	87	7.00	19.00
11	89	1.00	14.30
3	97	1.00	14.30
15	98	8.30	20.00
17	99	2.00	14.00
19	99	22.30	10.00
18	107	1.00	13.30

ms

U h r

Tabelle 16

Tageszeitliche Lage der Extreme der Tageskurven von QT, geordnet nach der Höhe des Tagesniveaus (T).

Versuch	Index	1	2	3	4
	T	Max.	Min.	Max.	Min.
17	368	21.00	14.30	8.00	3.00
1	369	2.30	19.30	13.30	9.00
3	381	1.30	16.30	10.30	6.30
7	396	20.00	14.00	8.00	1.30
15	409	14.00	8.00	4.00	21.00
13	424	8.00	3.00	21.00	14.30
12	427	8.00	2.00	20.00	14.30
18	444	7.00	1.00	19.30	13.30
16	451	8.00	2.00	19.00	13.00
14	459	8.00	3.00	20.00	13.00
2	464	4.00	22.00	16.00	10.00
11	475	3.00	21.30	16.30	11.00
4	476	2.00	20.30	15.00	9.30

ms

U h r

Tabelle 17

Tageszeitliche Lage der Extreme der Tageskurven von R, geordnet nach der Höhe des Tagesniveaus (T).

Versuch	Index	1	2
	T	Max.	Min.
10	56	14.00	2.00
13	68	8.30	20.00
18	69	20.00	8.00
14	84	9.00	20.00
8	88	9.30	22.00
6	91	15.00	3.00
19	92	9.00	22.00
1	96	15.30	7.00
17	119	4.00	16.00
5	124	13.00	1.30
12	125	6.30	18.30
4	128	2.00	14.00
9	133	1.00	13.00
3	150	0.30	10.30
15	155	3.00	16.00
2	251	20.00	8.00

ms

U h r

Tabelle 18

Tageszeitliche Lage der Extreme der Tageskurven von T, geordnet nach der Höhe des Tagesniveaus (T).

Versuch	Index	1	2	3	4
	T	Max.	Min.	Max.	Min.
17	10	13.30	20.00	3.00	8.00
19	22	12.00	8.00	4.30	21.00
5	22	4.30	9.00	16.30	22.30
7	23	11.00	4.00	22.00	17.00
15	24	11.00	5.30	23.00	17.00
6	27	1.30	7.00	13.00	20.00
3	29	19.00	3.00	7.30	12.30
1	30	19.30	2.30	9.30	13.30
18	32	1.30	7.30	12.00	18.30
13	33	2.30	7.00	14.00	20.30
10	36	23.00	5.00	12.00	18.00
8	36	17.00	0.00	6.00	11.00
2	44	20.00	2.00	8.00	15.00
16	46	14.00	20.00	2.00	8.00
12	46	13.00	19.00	1.00	7.00
11	49	18.00	23.00	5.00	11.00
9	59	13.00	18.00	0.30	6.00

ms

U h r

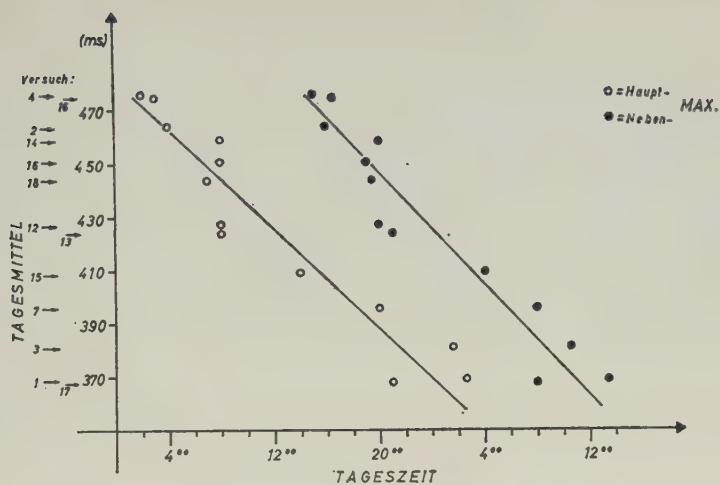


Abb. 18

Korrelation von Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Maxima von QT.

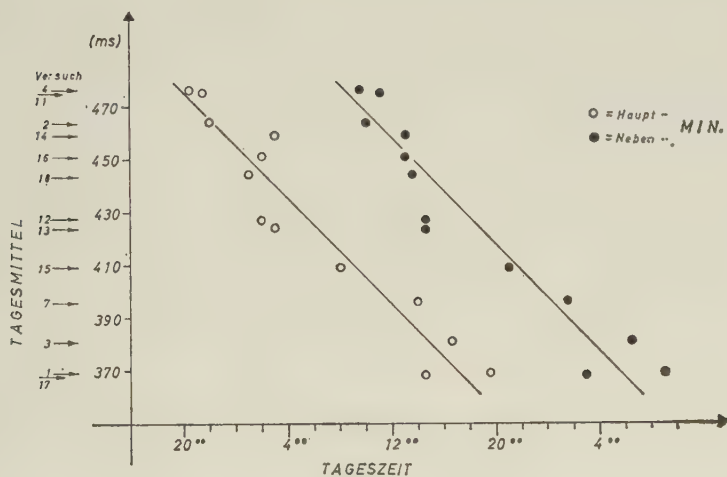


Abb. 19

Korrelation von Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Minima von QT.

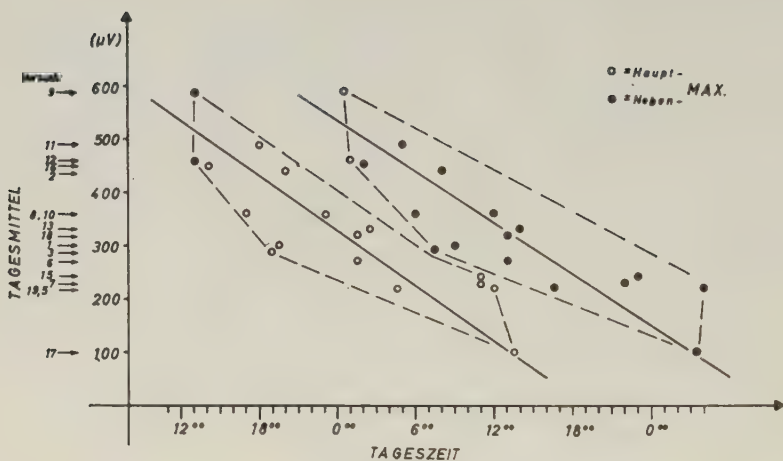


Abb. 20

Korrelation von Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Maxima von T.

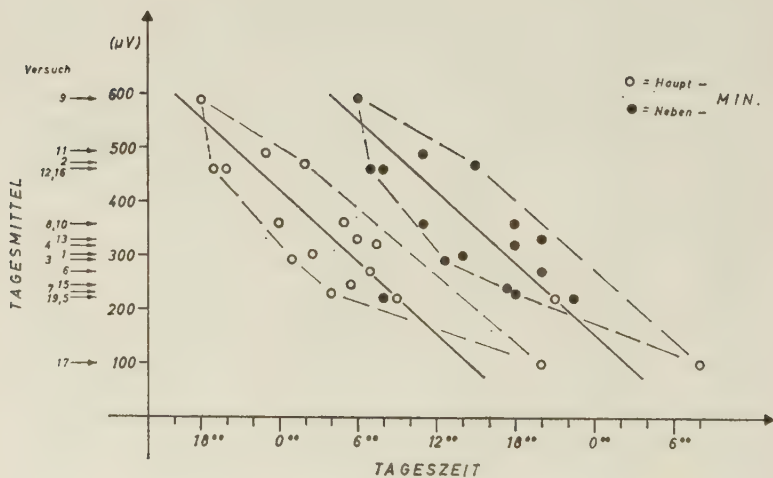


Abb. 21

Korrelation von Tagesniveau und tageszeitlicher Lage der Minima von T.

Besprechung der Ergebnisse

1. Tageskurven

Die vorstehend mitgeteilten Versuchsergebnisse zeigen, daß auch bei gesunden Versuchspersonen die verschiedenen am EKG zu messenden Größen nicht konstant sind. Bei wiederholter Untersuchung der gleichen Versuchspersonen unter unveränderten äußeren Bedingungen fanden sich während eines Untersuchungszeitraumes von 24 Stunden an allen gemessenen Größen Schwankungen, die aber bei körperlicher Ruhe nur sehr gering sind. Sie bewegten sich bei unserem Untersuchungsgut in der Größenordnung von 3–9%. Im Einzelfall ist es oft zwar schwierig, systematische Veränderungen im Sinne einer Tagesrhythmik nachzuweisen. Dennoch läßt sich zeigen, daß die im Tagesablauf auftretenden Schwankungen nicht völlig regellos erfolgen.

Bei Zusammenfassung einer größeren Zahl von Versuchen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Phasenlagen (Menzel [18], Berges [2]) ergaben sich für die Dauer der P-Welle, die QT-Zeit und die Höhe der T-Welle eine vorwiegend 12-stündige Periodik, für die Überleitungszeit, den QRS-Komplex und die Höhe der R-Zacke dagegen eine etwa 24-stündige Periodik. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß bei dem diesen Ergebnissen zugrundeliegenden zeichnerischen Näherungsverfahren nur jene Periodendauern erfaßt werden konnten, die auch in der einschlägigen Literatur als die häufigsten Periodendauern tagesrhythmischer Vorgänge beschrieben sind. Namentlich von Menzel (17) und Blume (3), sowie von Bünnig (5) ist dargetan worden, daß auch kürzer- bzw. längerdauernde Perioden vorkommen. Zum Teil dürften also die Einzelergebnisse durch Überlagerung von mehreren Perioden verschiedener Dauer kompliziert sein.

Die Berücksichtigung der Phasenlage bei der Errechnung von Mittelwertskurven bedingt, daß keine Aussagen mehr darüber gemacht werden können, zu welchen Tageszeiten sich Maxima bzw. Minima einer bestimmten Größe des EKG häufen. Insofern sind die geschilderten Ergebnisse mehr von Interesse für die Rhythmenforschung. Von allgemeinerem Interesse ist dagegen, daß derartige Extremwerte grundsätzlich zu allen Tageszeiten auftreten können, wie die Analyse der Einzelversuche ergab. Hier kommt nun ein anderes Prinzip zur Geltung, auf das Berges (2) hingewiesen hat: Die Phasenlage einer Tageskurve wird mitbestimmt durch das Niveau (gekennzeichnet durch den Tagesmittelwert), auf dem sich die Rhythmik abspielt. Bei hohen Tagesmittelwerten pflegen die Extreme zu einem früheren Zeitpunkt aufzutreten.

Aus diesen Verhältnissen erklären sich zwanglos die unterschiedlichen Angaben in der Literatur über die Phasenlage von Tageskurven (2, 5, 17, 18). Es bestätigt sich also insgesamt die schon von Hildebrandt und Mitarbeitern (9) geäußerte Ansicht, daß es sich bei den im EKG zu beobachtenden Tagesschwankungen nicht um eine regellose Spontanität handelt, sondern daß auch im EKG «das Prinzip rhythmischer Wiederkehr als zeitliche Ordnung» erkennbar ist.

2. Physiologie der Tagesrhythmik im Elektrokardiogramm

Tagesrhythmische Schwankungen der beschriebenen Art stehen häufig in engem Zusammenhang mit Tonusschwankungen im vegetativen Nervensystem (Berges [2], Menzel [19], Jores [11]). Diese Tonusänderungen können sich über die Herznerven auch am Herzen auswirken. Für die beiden Anteile des vegetativen Nervensystems liegen dabei folgende anatomische Verhältnisse vor: Der Sympathikus sendet aus jedem der drei Halsstrangganglien einen Nerven wahrscheinlich direkt in den Sinus- und Atrioventrikularknoten. Diese Nerven stammen aus vegetativen Zellen im Seitenhorn der Segmente Th₁-5.

Der Vagus als Parasympathikus, beginnend im Nucl. dors. vagi am Boden der Rautengrube, trifft mit den sympathischen Fasern im Plexus cardiacus zusammen, der unter dem Scheitel des Aortenbogens liegt. Von hier ziehen die Fasern verflochten zum Sinus- und Atrioventrikularknoten.

Afferente vegetative Fasern verlaufen in allen Ästen des Sympathikus und Parasympathikus. Dem Leitungsbogen der vegetativen Innervation ist ein Herzzentrum übergeordnet, das in der Medulla oblongata liegt. Seine Lage ist nicht genau bekannt, es besteht aus einzelnen Zellen der Formatio reticularis. Wahrscheinlich sind die Zentren des Sympathikus und Parasympathikus in der Medulla oblongata miteinander verbunden.

Der Einfluß der Nerven auf die Herzfunktion ist bekannt. So schreibt man dem N. vagus vier Wirkungen auf die Herzfunktion zu,

1. eine negativ chronotrope Wirkung auf die Frequenz,
2. eine negativ bathmotrope Wirkung im Sinne einer Herabsetzung der Erregbarkeit,
3. eine negativ dromotrope Wirkung im Sinne einer Verzögerung der Erregungsleitung,
4. eine negativ inotrope Wirkung im Sinne einer Herabsetzung der Herzkraft.

Der N. sympathicus weist entsprechend positive Wirkungen auf. Außerdem konnte gezeigt werden (Schütz [27]), daß am Vorhof unter Vaguserregung die Höhe des monophasischen Aktionsstromes vermindert, seine Dauer verkürzt und sein Anstieg verzögert wird («negativ elektrotrope Wirkung»).

Diese Möglichkeiten der vegetativen Beeinflussung der Herzfunktionen finden nicht alle Ausdruck in der Stromkurve des EKG. Durch Frequenzveränderungen (chronotrope Wirkung) werden die zeitlichen Relationen im EKG beeinflusst. Besonders den Werten der QT-Dauer werden gewisse, frequenzbezogene Grenzen gesetzt, deren Überschreitung als pathologisch gilt. Wir prüften jeden einzelnen Versuchswert daraufhin nach und fanden, daß eine Frequenzsteigerung nur in etwa 60% der Fälle mit einer QT-Verkürzung beantwortet wird (vgl. Abb. 1–3). Bei diesem nicht «synchronen» Verhalten von QT muß sicherlich die Tatsache mitberücksichtigt werden, daß die vegetativen Nerven am Herzen zwei verschiedene Ansatzpunkte mit teilweise entgegengesetzter Wirkung haben, indem sie die Herzmuskelfaser und ihren Stoffwechsel einmal direkt und zum anderen indirekt über die Koronarien beeinflussen. Zipp (36) erörtert, daß bei einem Sympathikusreiz die Vermehrung des O_2 -Verbrauchs über die Koronarerweiterung mit gesteigerter O_2 -Anlieferung dominieren kann. Umgekehrt könne bei Vagusreiz die Kranzaderverengung gegenüber der O_2 -sparenden vagotonen Herzwirkung im Vordergrund stehen. Unter diesen Verhältnissen könnte es möglich sein, daß die Antwort von QT auf eine Frequenzänderung nicht nur von dieser, sondern auch z. B. vom Zustand der Durchblutung des Myokards abhängt.

Die zweite als gesichert geltende Wirkung der Herznerven auf das EKG, die «negativ dromotrope Wirkung» durch Vagusreiz, besteht in einer Verzögerung der Erregungsleitung, die im EKG als PQ-Verlängerung ihren Ausdruck findet. Eine Überprüfung der Frage nach der Abhängigkeit der PQ-Dauer von der Frequenz erbrachte, daß nur etwa 40% der Meßwerte eine Übereinstimmung in dem Sinne brachte, daß Herzverlangsamung zur PQ-Verlängerung führt. Dieses Ergebnis könnte darauf hindeuten, daß man die Frequenzbeschleunigung nicht allein auf einen Sympathikuseffekt bzw. die Frequenzverlangsamung nicht allein auf einen Vaguseffekt beziehen darf, zumal nachgewiesen ist, daß experimentelle Steigerung der Herzfrequenz ohne den Weg über eine Sympathikusreizung (Miki, zit. nach Rothschuh [22]) zu einer relativen PQ-Verlängerung führt, während die PQ-Dauer durch Sympathikusreiz eine relative Verkürzung erfährt.

Über die «elektrotrope Wirkung» (Schütz [27]) sind für das EKG keine bestimmten Angaben zu machen, da sich diese Theorie auf den monophasischen Aktionsstrom bezieht. Hält man aber – in Überein-

stimmung mit der Differenztheorie – einen verzögerten Anstieg des monophasischen Aktionsstromes (negativ elektrotrope Wirkung) für die Ursache der QRS-Verbreiterung, so bestätigen unsere Versuchsergebnisse einen Zusammenhang, indem sie im allgemeinen das Maximum von QRS mit dem Minimum der Frequenz zusammenfallen lassen. Im übrigen finden sich aber keine sicheren Abhängigkeiten zwischen der QRS-Dauer und der Frequenz, zumal der Tagesablauf von QRS meist eingipflig, der der Frequenz zweigipflig ist. Obwohl sich manche Hinweise dafür finden, daß Schwankungen im vegetativen Tonus auch die tagesrhythmischen Phänomene im EKG beeinflussen, ist es schwierig, die beobachteten EKG-Veränderungen auf die Wirkung der Herznerven zurückzuführen. Insbesondere gelingt es nicht, auf diesem Wege zu erklären, warum ein Teil der Meßgrößen des EKG vorwiegend eine 24-stündige, andere Parameter dagegen eine 12-stündige Periodik zeigen.

Die eigentliche Ursache der Periodik dürfte auf einer angeborenen Komponente beruhen, die im Tierversuch bei Ausschluß aller äußeren Steuerfaktoren als «Eigenfrequenz» unterschiedlich langer Periodendauer nachweisbar ist (A s c h o f f [1]). Zur Auslösung des periodischen Geschehens bedarf es – nach experimenteller Untersuchung von B ü n n i n g (5) – des äußeren Anstoßes. Die Frequenz richtet sich dann nach den gewählten konstanten Umweltbedingungen (Licht – Dunkelwechsel usw.), kann aber nicht beliebig von außen her geändert werden, da eine angeborene endogene Komponente eine bestimmte Form der Periodik vorschreibt. So ist die Möglichkeit einer äußeren Frequenzmodulation begrenzt.

Die Phasenlage der Periodik wird ausschließlich durch bekannte Umweltreize – die physikalisch-chemischen und soziologischen Zeitgeber – bestimmt. Durch entsprechende Handhabung dieser Zeitgeber läßt sich jede beliebige Phasenverschiebung erzwingen. Bei plötzlicher Verstellung der Zeitgeber um 180° (Inversversuch) folgt die Phase nur langsam; volle Synchronisation ist im Mittel nach 8 Tagen erreicht⁴.

Werden die bekannten Zeitgeber ausgeschaltet, so ändert sich die Frequenz der Periodik. Die Annahme eines unbekannten terrestrischen oder kosmischen Faktors (d e R u d d e r [23]), der die Phase an die Ortszeit bindet, hält A s c h o f f (1) für nicht begründet. In diesem Rahmen sind u. E. auch die rhythmischen Phänomene in den Aktionspotentialen der Herzstromkurve zu sehen.

⁴ So konnte N ö c k e r (21) bei der Betreuung der auf dem Luftwege nach Melbourne gelangten deutschen Olympiamannschaft nachweisen, daß eine Umstellung der Phasenlage der Körpertemperatur auf die neue Ortszeit innerhalb einer Woche geschah.

Zusammenfassung

An 19 gesunden Sportstudenten der Universität Münster wurde durch stündliche Registrierungen der Herzstromkurve (Abb. 2) über 24 Stunden untersucht, ob auch beim Gesunden Tagesschwankungen im EKG nachweisbar sind und ob solche Schwankungen dann regellos über den Untersuchungszeitraum verteilt sind oder eine Systematik («Tagesrhythmus») erkennen lassen. Es ergab sich:

1. Auch bei Gesunden treten Tagesschwankungen auf. Sie verlassen aber im wesentlichen nicht den Rahmen, der hierfür als physiologisch angesehen wird.
2. Der Tagesgang der einzelnen Werte der Herzstromkurve entspricht weitgehend dem tagesrhythmischen Verhalten anderer biologischer Funktionen, deren Tagesschwankungen bekannt sind.
3. Die Tageskurven der Werte von PQ, QRS und R sind in ihrer Mehrzahl eingipflig, so daß die Tageskurven aus 24-stündigen Perioden aufgebaut sind.
4. Die Tageskurven der Werte von P, QT und T sind in ihrer Mehrzahl zweigipflig. Die Extreme folgen einander in etwa 6-stündigen Abständen, so daß die Tageskurven aus je zwei 12-stündigen Perioden aufgebaut sind.

5. Die Tagesmittelwerte der Versuche lagen für

P	zwischen	80	und	120 ms
PQ	"	130	"	200 ms
QRS	"	60	"	110 ms
QT	"	370	"	480 ms
R	"	560	"	2510 μ V
T	"	100	"	590 μ V
F _q	"	42,8	"	74,7/Min.

6. Die Amplitude der Tageskurve, d. h. der Unterschied zwischen Hauptmaximum und Hauptminimum ist bei den einzelnen Versuchen verschieden. Das Ausmaß der Tagesschwankungen bewegt sich zwischen 3 und 9% des Tagesmittelwertes.
7. Die Extreme der Tageskurven der einzelnen Versuche liegen nicht stets zu denselben Tageszeiten, sondern die Phasenlage wird durch die Höhe des Tagesmittelwertes bestimmt: Je höher das Tagesmittel, desto früher liegen die Extreme. Die Abhängigkeit ist linear.
8. Zwischen Tagesmittel und Amplitude der Aktionspotentiale ließen sich keine statistisch nachweisbaren Abhängigkeiten finden.

Es wird diskutiert, in welchem Umfange eine Zurückführung der Befunde auf Schwankungen im Tonus des vegetativen Nervensystems möglich erscheint. Es wird auf die Einflüsse von exogenen und endogenen Wirkungen auf tagesrhythmische Verläufe verwiesen.

Literatur

- 1 Aschoff, J.: Exogene und endogene Komponente der 24-Stunden-Periodik bei Tier und Mensch. Naturwiss. Berlin **42**, 569, 1955.
- 2 Berges, D.: Elektromyographische Untersuchungen an Sportlern zur Frage einer Tagesrhythmik der Muskelaktivität. Med. Diss. Münster/W. 1957.
- 3 Blume, J.: Über die Analyse kurzer Kurvenzüge. Zschr. angew. Math. Mech. **23**, 346, 1943.
- 4 Böckh, E. M.: Ein Beitrag zur Frage der Tagesschwankungen im EKG der Standard-Extremitätenabteilungen. Zschr. Kreislaufforsch. **42**, 420, 1953.
- 5 Bünning, E.: Die physiologische Uhr. Springer, Berlin 1958.
- 6 Czoniczer, G. und Szabo, R.: Über die Rolle der «Spontanschwankungen» der Überleitungszeit (PQ-Zeit) in der Diagnose der rheumatischen Karditis. Zschr. Kreislaufforsch. **46**, 764, 1957.
- 7 Gross, A.: Ursache und Bedeutung der Tagesschwankungen des EKG. Ärztl. Wschr. **9**, 226, 1954.
- 8 Herrmann, G.: Über Änderungen der ST- und T-Form des Elektrokardiogramms im Laufe des Tages («Tagesschwankungen»). Zschr. Kreislaufforsch. **30**, 209, 1938.
- 9 Hildebrandt, G., Hanke, O. und Engelbertz, P.: Tagesschwankungen im EKG. Medizinische, Stuttgart 1414, 1954.
- 10 Jores, A.: Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen. Erg. inn. Med. **48**, 574, 1935.
- 11 Jores, A.: Endokrines und vegetatives System in ihrer Bedeutung für die Tagesperiodik. Dtsch. med. Wschr. **64**, 989, 1938.
- 12 Klepzig, H., Reindell, H. und Tecklenborg: Über flüchtige Veränderungen von T im Brustwand-EKG. Dtsch. med. Wschr. **82**, 910, 1957.
- 13 Köhler, R.: Ein Beitrag zum Einfluß des Sports auf Herz und Kreislauf. 1. Mitt.: Über Herzgröße und EKG. Zschr. inn. Med., Leipzig **10**, 819, 1955.
- 14 Külbs, F.: Experimentelle EKG-Untersuchungen am bebrüteten Hühnerembryo. Handbuch Inn. Med., Bd. 2, 467, 1928.
- 15 Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. 1. Aufl., Basel: Birkhäuser 1945.
- 16 Menzel, W.: Über den heutigen Stand der Rhythmenlehre in Bezug auf die Medizin. Zschr. Altersforsch., **6**, 26 u. 104, 1952.
- 17 Menzel, W.: Perioden menschlicher Körperfunktionen in Diagnose und Therapie. Medizinische, Stuttgart 1521, 1956.
- 18 Menzel, W.: Wellenlänge und Phasenlage der menschlichen Nierenrhythmik mit Analysen nach dem Blume'schen Verfahren (Erste Untersuchungen). Zschr. exp. Med. **116**, 237, 1950.
- 19 Menzel, W.: Zum Wesen der Tagesrhythmik. Grundriß einer klinischen allgemeinen Rhythmologie. Ärztl. Wschr. **1-2**, 705, 1947.
- 20 Michel, D.: Die quantitative Analyse der Ruhe-, Belastungs- und Stehelektrokardiogramme im Kindesalter. Zschr. Altersforsch. **6**, 37 u. 234, 1952.

- 21 Nöcker, J.: Sportärztliche Erfahrungen bei der Betreuung der Olympiamannschaft der DDR in Melbourne. Theor. Prax. Körperkult., Berlin **6**, 413, 1957.
- 22 Rothschuh, K. E.: Elektrophysiologie des Herzens. Steinkopff, Darmstadt 1952.
- 23 de Rudder, B.: Über sogenannte «kosmische» Rhythmen beim Menschen. Thieme, Stuttgart 1948.
- 24 Schellong, F. in: Denning, H.: Lehrbuch der Inn. Medizin. 3. Aufl., Stuttgart, Thieme, 1954.
- 25 Schmidt, J.: Die Bedeutung der P-Zacke in der klinischen Elektrokardiographie. Zschr. Kreislaufforsch. **44**, 837, 1955.
- 26 Schütz, E.: Zur Physiologie des Elektrokardiogramms. Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch., 18. Tag., 50, 1952.
- 27 Schütz, E.: Physiologie des Herzens. Springer, Berlin 1958.
- 28 Schweers, A.: Über den wechselnden Ablauf des Elektrokardiogramms. Dtsch. med. Wschr. **81**, 1917, 1956.
- 29 Slapak, L.: Über die Veränderungen der relativen QT-Dauer im Elektrokardiogramm nach Arbeitsbelastung und im Atropinversuch beim Sportler. Wien. klin. Wschr. **68**, 913, 1956.
- 30 Slapak, L.: EKG-Veränderungen beim Sportherz. Wien. klin. Wschr. **69**, 200, 1957.
- 31 Sollberger, A.: Tagesschwankungen in der Streuung biologischer Werte. Vhdlg. 4. Konf. Internat. Ges. Biol. Rhythmusforsch. 1953. Stockholm: Almquist & Wiksells 1955, S. 69.
- 32 Vesa, A.: Duodecim, Acta Soc. med. fenn. (Helsingfors), **26**, 11, 1939.
- 33 Völker, H.: Über die tagesperiodischen Schwankungen einiger Lebensvorgänge des Menschen. Pflügers Arch. Physiol. **215**, 43, 1927.
- 34 Wenner, J. und Doll, E.: Über Schwankungen der Amplitude der T-Welle im Extremitäten-EKG gesunder Säuglinge. Zschr. Kreislaufforsch. **47**, 869, 1958.
- 35 Will, E.: Zur Bedeutung extrakardial bedingter, insbesondere psychogener EKG-Veränderungen für die Praxis. Medizinische, Stuttgart, 1312, 1955.
- 36 Zipp, H.: Wie erkennt man vegetativ bedingte EKG-Veränderungen in der Praxis? Münch. med. Wschr. **102**, 1006, 1960.

Allen, die mich bei der Durchführung der Arbeit unterstützten, sage ich meinen herzlichen Dank. So danke ich vor allem Herrn Prof. Dr. med. Klaus für die Überlassung des Themas und die tatkräftige Förderung der Arbeit. Herrn Dr. med. Berges bin ich für den Rat und die Hilfe bei der Durchführung der Experimente zu großem Dank verpflichtet. Ebenfalls sei dem Kuratorium für sportmedizinische Forschung für die großzügige Unterstützung herzlich gedankt.

Lebenslauf

Am 25. April 1929 wurde ich, Alfred Kellersmann, in Osnabrück als erstes Kind des Facharztes für Chirurgie Dr. med. Alfred Kellersmann und seiner Ehefrau Ilse, geb. Wenner, geboren. Von 1935 bis 1939 besuchte ich in Berlin die Volksschule und wurde dann Schüler des Kaiserin-Augusta-Gymnasiums in Berlin-Charlottenburg. Bedingt durch die Evakuierung Berlins war ich in den Jahren 1944 bis 1946 Schüler der Städtischen Mittelschule in Fürstenau/Hannover, 1946 bis 1947 Schüler der Städtischen Oberschule Lüdinghausen. Nach Berlin zurückgekehrt, besuchte ich die Schiller-Oberschule, an der ich am 20. 6. 1949 die Reifeprüfung ablegte. Im Anschluß daran absolvierte ich ein halbjähriges Krankenpflegepraktikum. Bedingt durch den seinerzeit strengen Numerus clausus in der Medizinischen Fakultät entschloß ich mich im Sommer 1950, eine Buchhandelslehre zu beginnen und arbeitete im Otto-Petters-Verlag, Berlin-Zehlendorf. Zu Beginn des Wintersemesters 1951/52 konnte ich das Medizinstudium an der Universität Freiburg aufnehmen. Ab Sommersemester 1954 studierte ich in Kiel und bestand dort am 23. 7. 1954 das medizinische Vorexamen. Vom Wintersemester 1955/56 an studierte ich in Münster, wo ich am 23. 2. 1959 das Medizinische Staatsexamen bestand. Vom 1. 3. 1959 bis 31. 12. 1959 war ich auf der Gynäkologischen Abteilung, vom 1. 1. 1960 bis 31. 10. 1960 auf der Inneren Abteilung der Raphaelsklinik, Münster, als Medizinalassistent tätig. Seit 1. 11. 1960 arbeite ich am Evangelischen «Johannisstift», Münster, auf der Chirurgischen Abteilung.

